

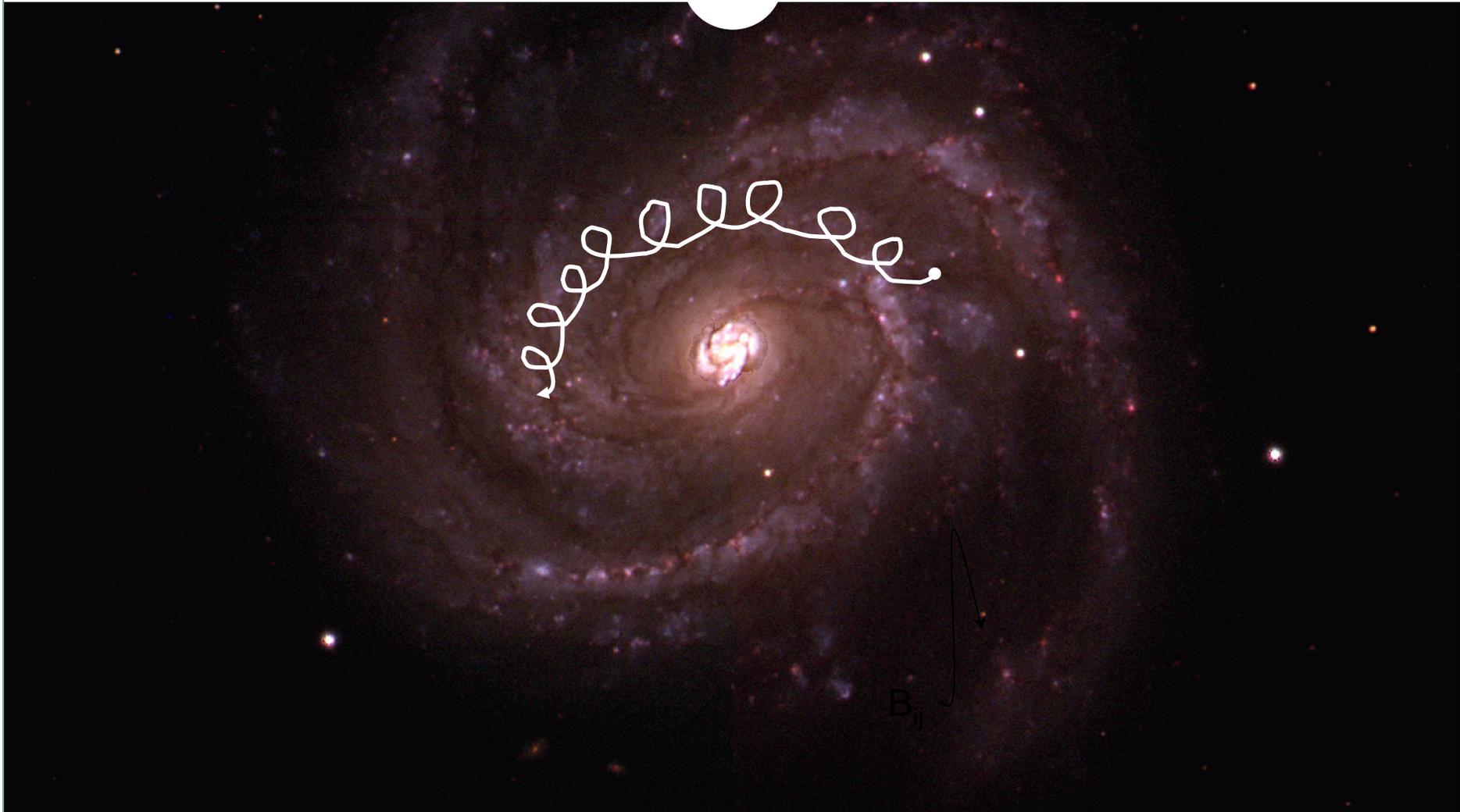
Code chaotique

1

- 1. PROBLÈME PHYSIQUE ET MISE EN EQUATION**
- 2. CHAOS NUMÉRIQUE VS DÉTERMINISTE**
- 3. L'APPLICATION**

Problème physique

2



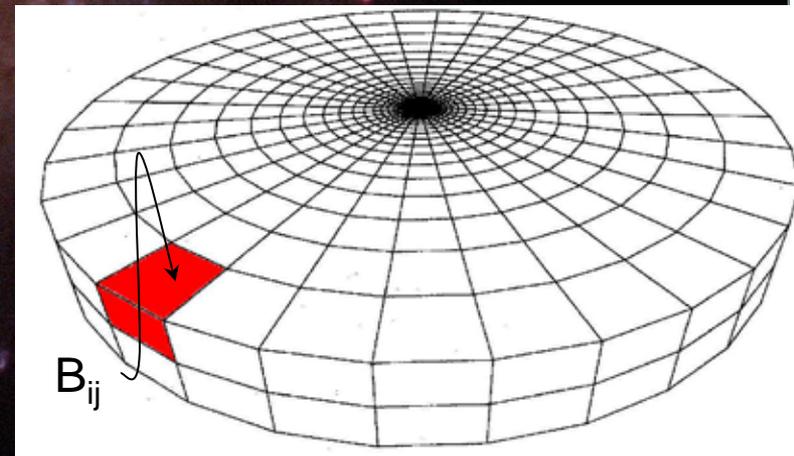
Expression mathématique du problème

3

$$M_i = \sum_{j=1}^{N_{\text{orbites}}} B_{ij} \times X_j \quad (i = 1, \dots, N_{\text{cellules}}) \quad X_j \geq 0$$

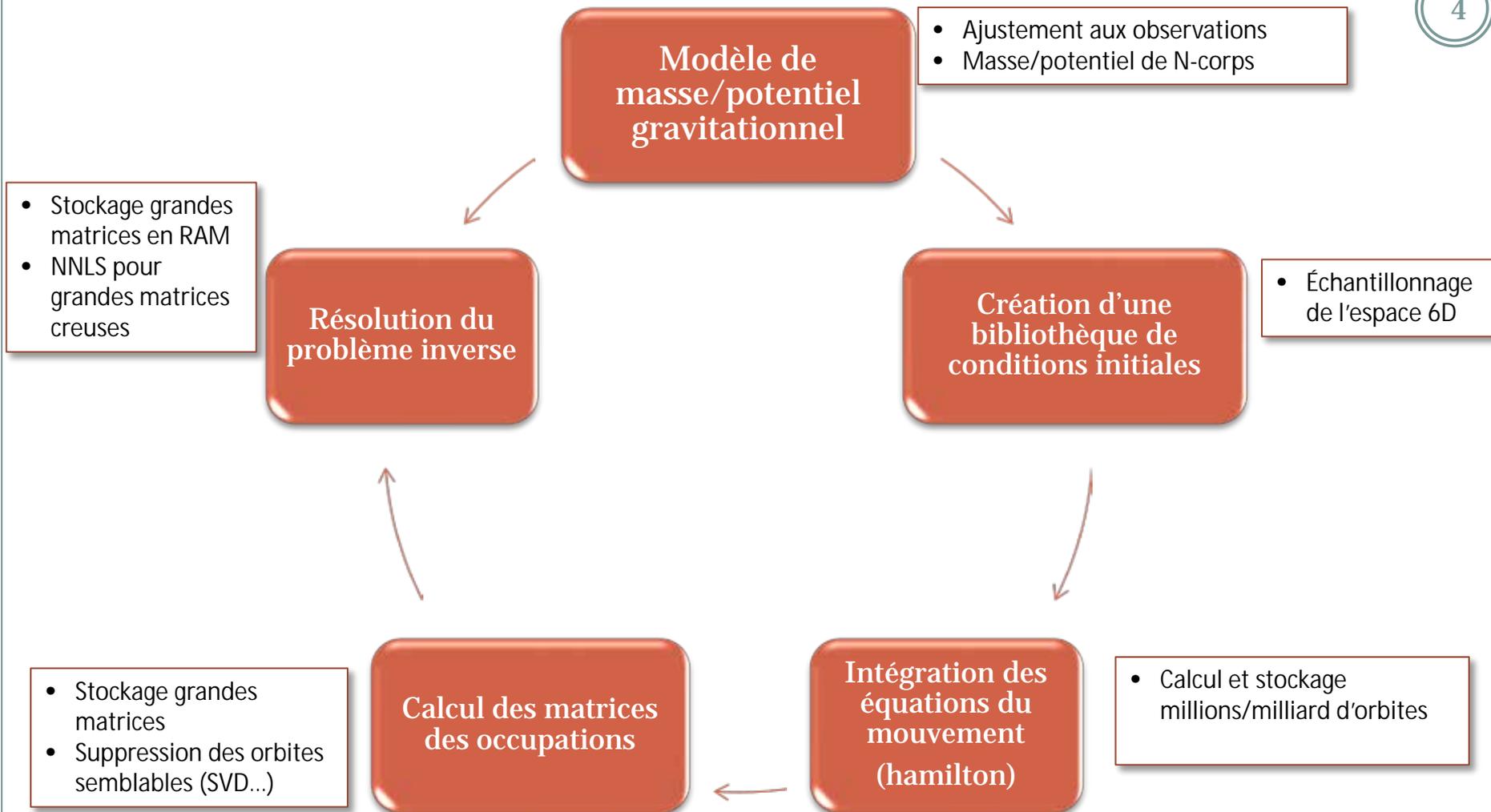
$$\min \left\| M_i - \sum_{j=1}^{N_{\text{orbites}}} B_{ij} \times X_j \right\| \approx 0$$

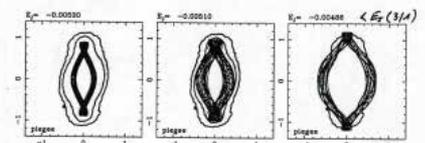
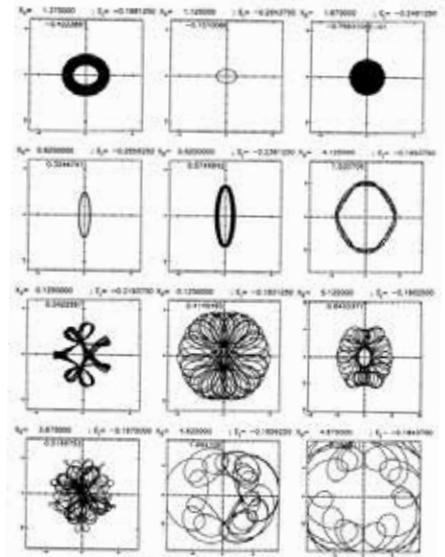
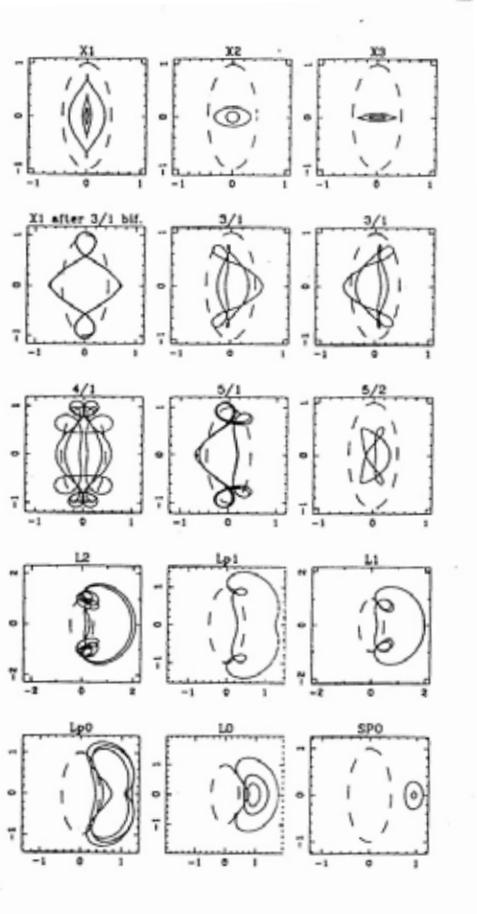
$$\min \left\| \sum_{j=1}^{N_{\text{orbites}}} |\overline{L_z}|_j \times X_j \right\| \approx 0$$



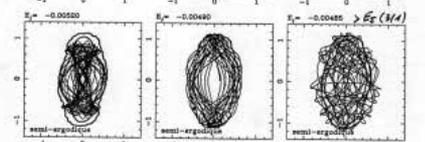
Etapes pratiques

4

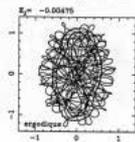




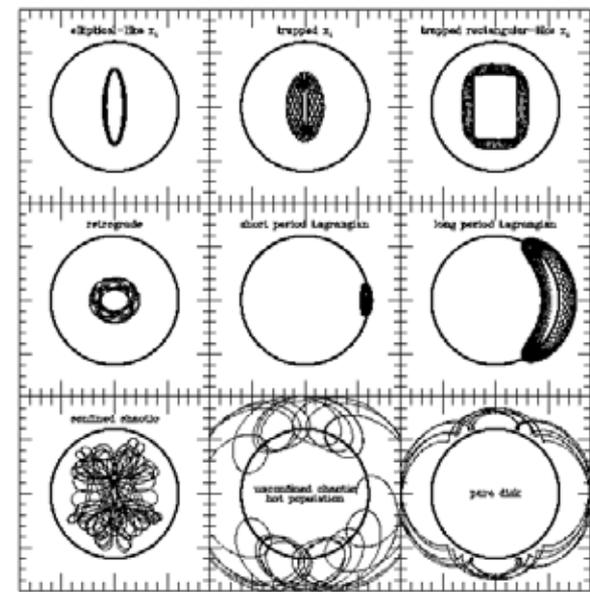
P



S

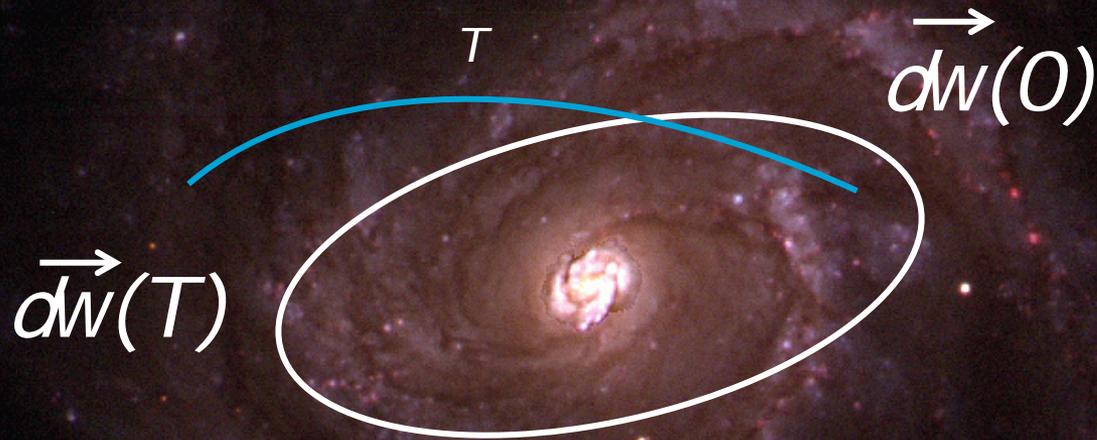


E



Mesure du chaos

6

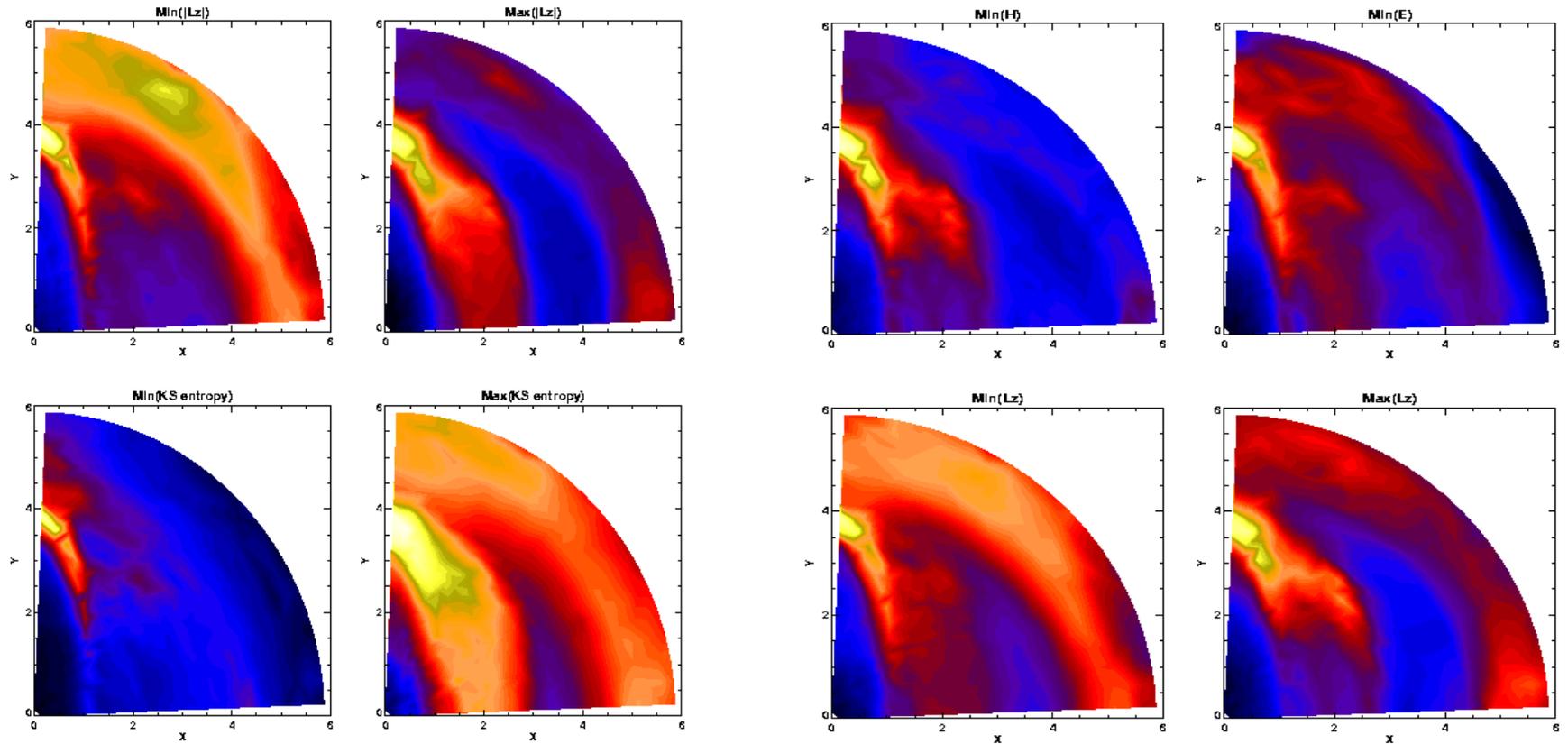


$$dw_j(T) \mu dw_j(0) e^{l_j T}$$

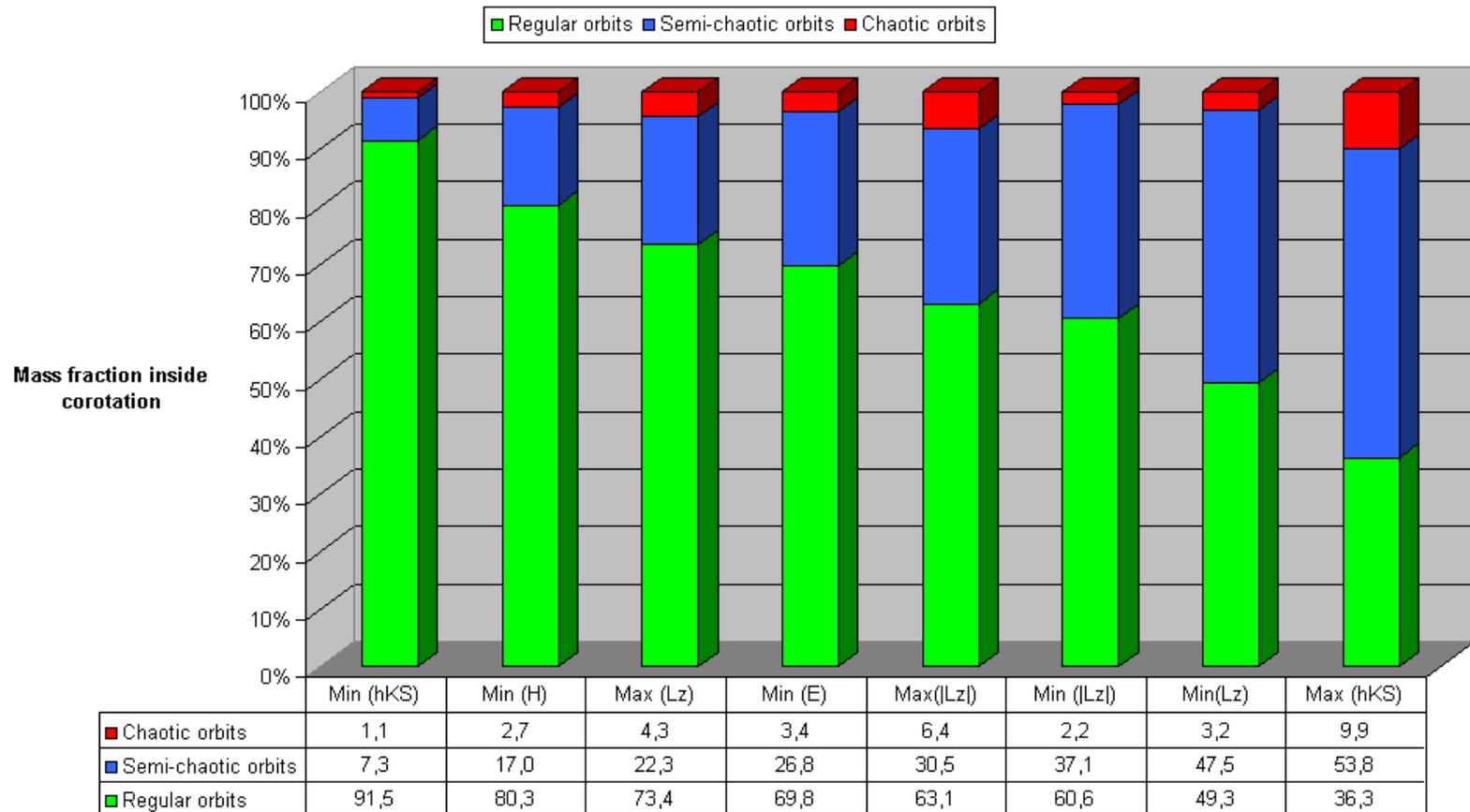
$$h_{KS} = \mathring{a} \sum_{j=1, K, 6}^{l_j > 0} l_j$$

$$l_j = \lim_{dw_j(0) \rightarrow 0} \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \ln \frac{dw_j(T)}{dw_j(0)}$$

Distribution spatiale du chaos



Taxonomie des orbites



Chaos numérique ou déterministe (fameux effet papillon) ?

E. Lorenz, 1963, J. Atmos. Sc., 20, 130

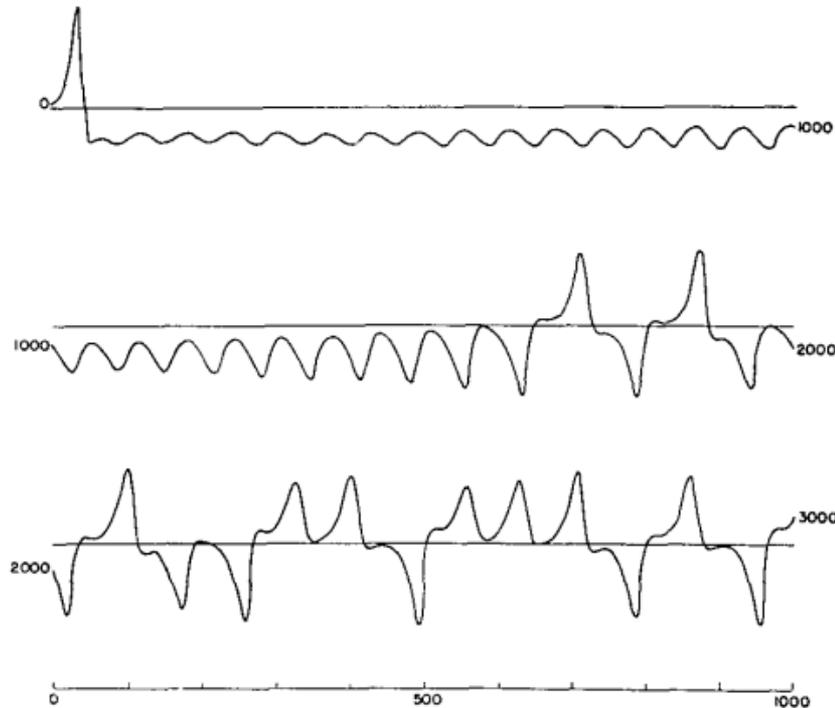


FIG. 1. Numerical solution of the convection equations. Graph of Y as a function of time for the first 1000 iterations (upper curve), second 1000 iterations (middle curve), and third 1000 iterations (lower curve).

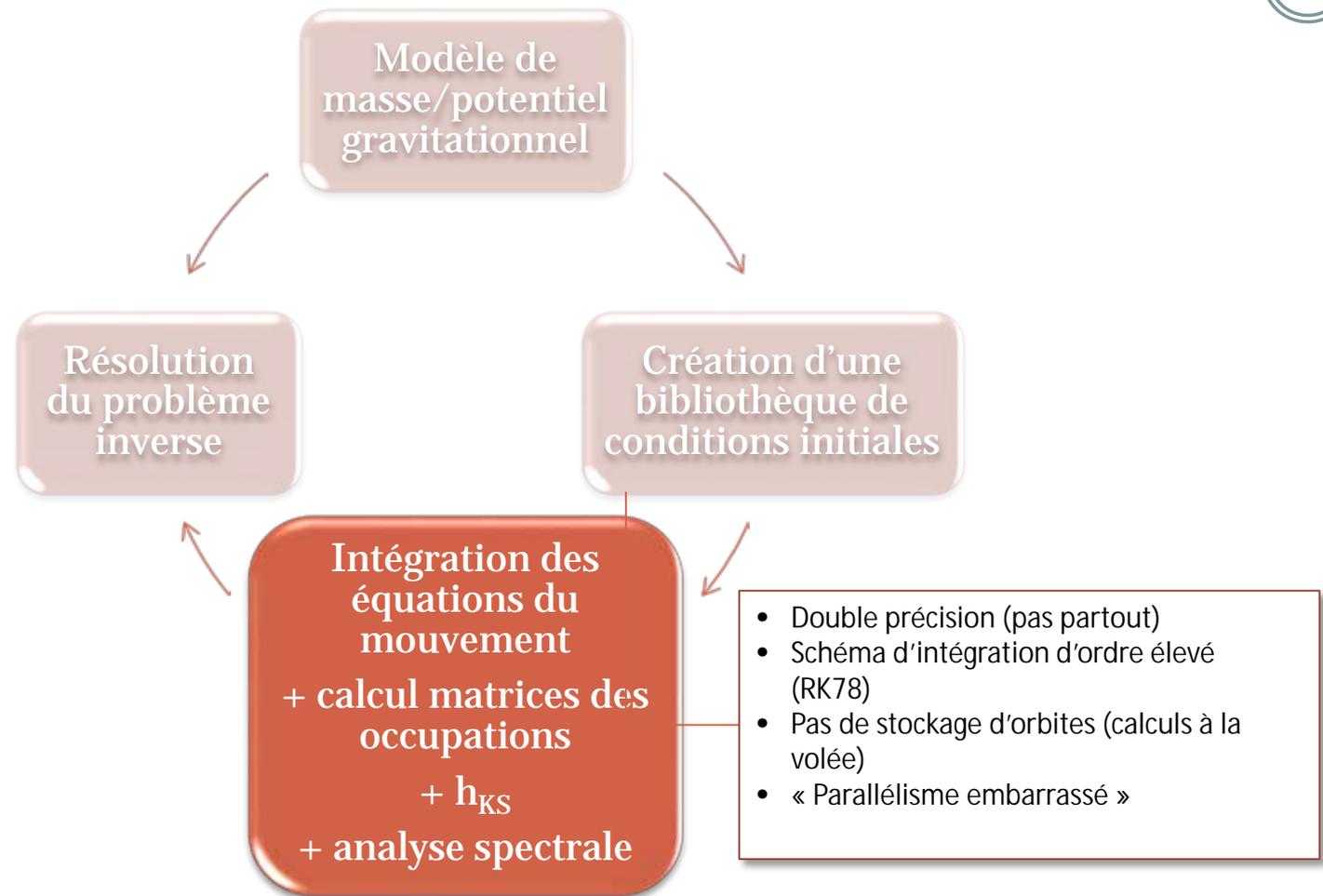
Du temps de Lorenz, à chaque reprise du calcul, les données (arrondies) sont re-saisies et les solutions diffèrent d'un calcul continu.

Toujours d'actualité, au moindre arrondi (registre FP, I/O, représentation des réels, etc.), les propriétés des orbites changent (parfois radicalement !)

Impact les études de stabilité du système solaire (cf. travaux de J. Laskar)

Etapes pratiques

10



Code chaotique

11

- Intègre un système hamiltonien déterministe sensible à la précision et erreurs d'arrondis
- Application initiale : Vax/VMS, Sun/Sparc, IBM3090 (vectorisée et parallélisée), IBM-SP2, Cray XMP2, Cines, etc.
- Application réécrite/augmentée progressivement depuis 2007
 - Clusters maison (sauf cloud LUPM), mésocentres (Unistra, HPC@LR)
- Majoritairement : Fortran95 (ifort), MPI (OpenMPI), mais reste du F66 (RK78 enveloppée dans du F95 mais avec un *goto 20* !!)
- Pas de GPU/FPGA (on peut pas tout faire...)
- Dépendances (FFT, aléas) : NAG (mais bibliothèque incluse hors centres de calcul...)
- Style de codage : de physicien (pire ! d'astrophysicien), plein d'astuces, peu de commentaires J, illisible à cause des instructions MPI, pas d'éclipse... (vive emacs).